

УДК 630*232.315.4

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СЕПАРИРОВАНИЯ ЛЕСОСЕМЕННОГО ВОРОХА

А. И. Новиков

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова»

Технологический процесс сепарирования включает элиминирование трудноотделимых частиц [5] (хвои и ее фрагментов), в достаточном количестве встречающихся в лесосеменном ворохе хвойных пород, осуществляемый с помощью дискового сепаратора (пат. 2179079 РФ).

Конструктивными параметрами [1, 4, 6, 7] дискового сепаратора, определяющими показатели технологического процесса сепарирования, являются (рис. 1): L – длина сортирующей части цилиндра; L_0 – длина ориентирующей части цилиндра; D_l – наружный диаметр цилиндра; D_k – диаметр цилиндра по глубине канавки; $\Delta_1 \dots \Delta_n$ – ширина канавок в одноименных размерных секциях; $c_1 \dots c_n$ – длины размерных секций сортирующей части цилиндра; α – угол наклона к горизонту рабочего органа; β – угол наклона скатной доски к поверхности цилиндра; $R_{ск}$ – радиус скатной доски; n – количество фракций.

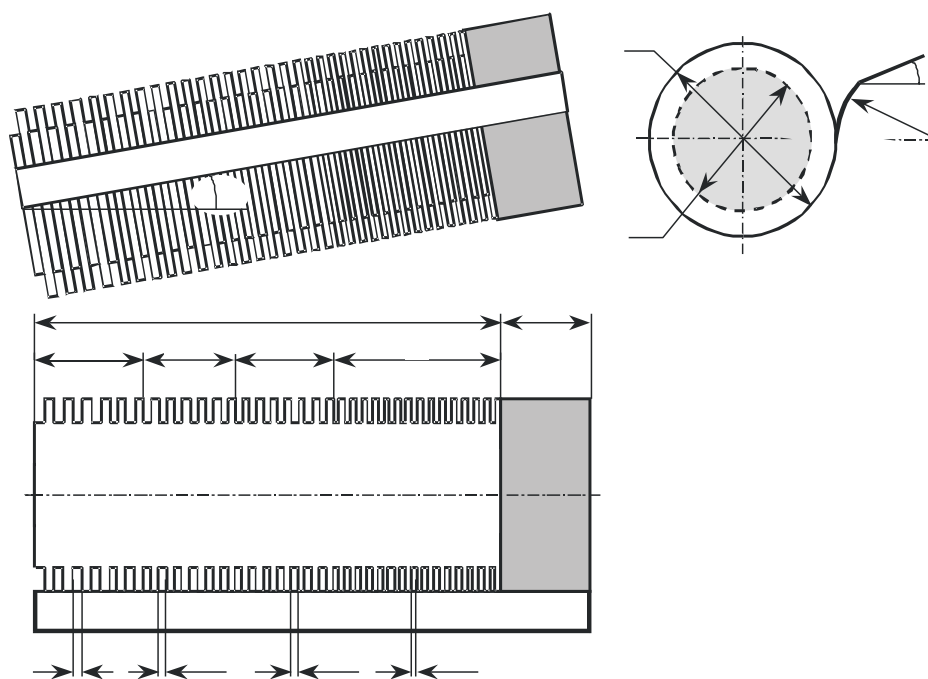


Рисунок 1 – Схема рабочего органа сепаратора дискового типа

Особенностью сепаратора является деление дисками разного диаметра сортирующей части на четыре размерные секции (количество секций определяется фракционным составом лесосеменного материала) с образованными в них кольцевыми канавками прямоугольного профиля. При этом в направлении сортирования ширина канавок в смежных секциях увеличивается и соответствует максимальной длине семян в каждой из выделяемых фракций, а длина секций уменьшается и определяется из выражений (пат. 2179079 РФ)

$$\begin{cases} c_1 = (0,49 \div 0,51)L \\ c_{2,3,4} = (0,32 \div 0,34)c_1 \end{cases}, \quad (1)$$

где c_1 – длина секции, прилегающей к ориентирующей части цилиндра; $c_{2,3,4}$ – длина последующих секций.

Рассмотрим частный случай, в котором скатная доска имеет плоскую поверхность ($R_{ск} = \infty$) и ее кромка расположена на уровне оси вращения цилиндра.

Внутренний диаметр цилиндра D_k (по дну канавок) выбирается с таким расчетом, чтобы величина зазора между кромкой скатной доски и дном канавки была достаточна для прохода в него семени, наибольший продольный размер которого не превышает ширину канавки $\Delta_1 \dots \Delta_4$. Если обозначить через d наибольший поперечный размер семени, внутренний диаметр цилиндра:

$$\frac{D_1 - D_k}{2} > d \quad (2)$$

В общем случае угол β рассматривается как угол между касательной к поверхности скатной доски и горизонталью. Прохождение семян сквозь канавки сортирующей части цилиндра при работе сепаратора осуществляется под действием составляющей силы тяжести, пропорциональной углу наклона к горизонтали скатной доски в плоскости, перпендикулярной продольной оси сепаратора. Поэтому запишем, что

$$\beta > \varphi_{s_2} = \arctg f_{s_2}, \quad (3)$$

где φ_{s_2} – статический угол трения семени о материал скатной доски; f_{s_2} – соответствующий статический коэффициент трения.

Величина угла β выбирается с некоторым запасом, что способствует надежному протеканию процесса.

Ширина канавки определяется по формуле

$$\Delta_k = \Theta_{\Delta_k} d_{\min}, \quad (4)$$

где Θ_{Δ_k} – безразмерный коэффициент зазора размерной секции; d_{\min} – средний размер семян мелкой фракции, по которому осуществляется разделение.

Безразмерный коэффициент зазора Θ_{Δ_k} определяется из предположения о том, что между геометрическими размерами семян хвойных пород деревьев существует определенная корреляция, которая, например, для семян сосны обыкновенной выражается следующими соотношениями [9]:

$$\left. \begin{aligned} T &= 0,348 + 0,448Ш \pm \varepsilon_1 \\ Ш &= 1,175 + 0,265Д \pm \varepsilon_2 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

где T , $Ш$ и $Д$ – соответственно толщина, ширина и длина семени; ε_1 и ε_2 – ошибки определения представленных величин.

Для получения аналитических зависимостей, учитываемых в математическом обосновании взаимодействия рабочего органа дискового сепаратора с элиминируемыми частицами, с учетом граничных условий (2-5), ранее рассмотрены статическое, динамическое равновесие, движение трудноотделимых примесей [2, 3, 8].

Углы наклона дискового рабочего органа сепаратора к горизонту (α') и, соответственно, скатной доски к поверхности рабочего органа (β') при движении элиминируемых частиц [3]

$$\alpha' = \arctg(\theta'_1 f'_{s_1} + \theta'_2 f'_{s_2}), \quad (6)$$

$$\beta' = \arctg f'_{s_2}. \quad (7)$$

где θ'_1, θ'_2 – постоянные в каждом конкретном случае величины, зависящие только от геометрических параметров сепаратора дискового типа, соотношений размеров цилиндра и примеси, а также от фрикционных свойств трудноотделимых

примесей и материала скатной доски; f'_{s1} и f'_{s2} – статические коэффициенты трения трудноотделимой примеси о цилиндр и скатную доску соответственно.

Перемещение трудноотделимых примесей определим из выражения:

$$S' = \xi'_{yct} = \frac{1}{2} t'_{yct} \cdot \dot{\xi}'_{yct} \quad (8)$$

где $\dot{\xi}'_{yct}$ – установившаяся скорость

$$\dot{\xi}'_{yct} = \left[\frac{m_{np} g}{c_2} \sin \alpha (1 - K'_1 - K'_2) \right]^{\frac{1}{2}}; \quad (9)$$

t'_{yct} – время разгона трудноотделимой примеси до установившейся скорости

$$t'_{yct} = \frac{\dot{\xi}'_{yct} - \dot{\xi}'_0}{g \sin \alpha (1 - K'_1 - K'_2) - \frac{c_2}{m_{np}} (\dot{\xi}'_{yct})^2}, \quad (10)$$

Здесь $\dot{\xi}'_0$ – начальные скорости, с которыми семя или трудноотделимая примесь поступает на рабочий орган сепаратора.

Дифференциальные уравнения движения трудноотделимой примеси запишется в виде:

$$\ddot{\xi} = g \sin \alpha \left\{ 1 - \theta'_1 f'_{d1} \operatorname{ctg} \alpha - f'_{d2} \operatorname{ctg} \alpha \left[\theta'_2 - \theta'_1 \cos (\beta - \gamma') \cdot f'_{\xi_1} \right] \right\} - \frac{c_2}{m_{np}} \dot{\xi}^2, \quad (11)$$

где f'_{d2} – коэффициенты динамического трения трудноотделимой примеси о скатную доску; g – ускорение силы тяжести; m_{np} – масса трудноотделимой примеси; γ' – угол между нормальными реакциями, действующими на примесь со стороны цилиндра и скатной доски соответственно.

Интегрируя выражение (11) по времени, получим осевые скорости движения трудноотделимой примеси:

$$\dot{\xi}' = g t \sin \alpha (1 - K'_1 - K'_2) - \frac{c_2}{m_{np}} \int_0^t (\dot{\xi}')^2 dt + \dot{\xi}'_0. \quad (12)$$

где K'_1, K'_2 – константы, зависящие только от фрикционных свойств примесей, конструктивных и кинематических параметров сепаратора:

$$\left. \begin{aligned} K'_1 &= \theta'_1 f'_{d_1} \operatorname{ctg} \alpha \\ K'_2 &= \theta'_2 - \theta'_1 \cos(\beta - \gamma') \cdot \left(A' + B' \frac{\pi D_1 n_1}{60} \right) \end{aligned} \right\} . \quad (13)$$

Перемещение примеси получим путем интегрирования выражения (12):

$$\xi_{np} = \frac{1}{2} g t^2 \sin \alpha (1 - K'_1 - K'_2) - \frac{c_2}{m_{np}} \int_0^t \int_0^t (\dot{\xi}')^2 dt + \dot{\xi}'_0 t . \quad (14)$$

Таким образом, выражения (6) и (7) дают возможность предварительно обосновывать величины углов α и β наклона рабочего органа, аналитические выражения (11), (12) и (14), определять основные параметры на стадии проектирования.

Предложенное математическое обоснование технологического процесса сепарирования лесосеменного вороха позволит находить оптимальные геометрические, эксплуатационно-технологические параметры дискового сепаратора, учитывающие свойства элиминируемых частиц (геометрические и трибологические характеристики): угол наклона скатной доски к поверхности цилиндра, ширину кольцевых канавок, внутренний диаметр цилиндра, длины размерных секций сортирующей части цилиндра, длину ориентирующей части цилиндра рабочего органа.

Библиографический список

1 Новиков, А. И. Выбор и обоснование некоторых конструктивных параметров сепаратора дискового типа из условия статического равновесия частиц // Химико-лесной комплекс – проблемы и решения: сб. статей по материалам Всероссийской научно-практической конференции. – Красноярск: СибГТУ, 2001. – С. 217-220.

2 Новиков, А. И. Статическое равновесие хвои в рабочем пространстве сепаратора дискового типа // Новые технологии и устойчивое управление в лесах Северной Европы : Междунар. конф., посвящ. 50-летию Лесоинженерного фак. Петрозавод. гос. ун-та : Тезисы докладов, 01-04 октября 2001 г. / М-во об-

разования РФ. Петрозавод. гос. ун-т. – Петрозаводск, 2001. – С. 92-94.

3 Новиков, А. И. Обоснование технологической схемы, конструкции и параметров сепаратора лесных семян дискового типа : дис. ... канд. техн. наук : 05.21.01. – Воронеж, 2002. – 157 с.

4 Новиков, А. И. Определение длины ориентирующей части цилиндра рабочего органа сепаратора дискового типа // Повышение эффективности лесозаготовок малолесных районов России : межвуз. сб. науч. тр. – Воронеж : Воронеж. гос. лесотехн. акад., 2002. – С. 142-145.

5 Новиков, А. И. Новое в сепарировании лесных семян [Текст] / А. И. Новиков // Организационно-методические вопросы деятельности научно-образовательного центра в области переработки и воспроизводства лесных ресурсов : материалы всероссийской науч.-практ. конф. с междунар. участием, 13-15 сент. 2006 г. / Под ред. авторов; Воронеж. гос. лесотехн. акад. – Воронеж, 2006. – С. 138-140.

6 Новиков, А. И. Обоснование основных параметров сепаратора лесных семян дискового типа // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – СПб. : СПбГЛТА, 2008. – Вып. 183. – С. 68-74.

7 Новиков, А. И. Влияние длины размерных секций дискового сепаратора на полноту выделения лесных семян // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – СПб. : СПбГЛТА, 2008. – Вып. 184. – С. 57-62.

8 Новиков, А. И. Математическая модель взаимодействия дискового рабочего органа сепаратора лесных семян с элиминируемыми частицами // Моделирование систем и процессов. – 2013. – №1. – С. 30-34.

9 Пономаренко, П. В. Разработка и исследование технологии механизации точного высева пневматической сеялкой в автоматизированном лесном питомнике: дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01 / П. В. Пономаренко. – Красноярск, 1979. – 182 с.